

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

Aluno (a): Rebecca Moura Guimarães

Matricula: 11/0138147

**PROJETO DE MONOGRAFIA**

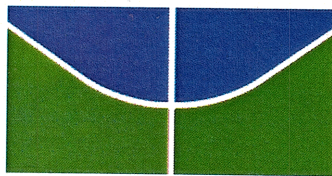
**Propriedades físicas, mecânicas e biológicas de compensado de**  
***Dendrocalamus asper* tratado quimicamente**

Orientador: Dr. Divino Eterno Teixeira

Co-orientador: Prof. Dr. Alexandre Florian da Costa

**Brasília – DF**

**Julho/2016**



Universidade de Brasília  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Florestal

**Propriedades físicas, mecânicas e biológicas de compensado de *Dendrocalamus asper* tratado quimicamente**

Estudante: Rebecca Moura Guimarães

Matrícula: 11/0138147

Orientador: PhD. Divino Eterno Teixeira

Co-orientador: Prof. Dr. Alexandre Florian da Costa

Menção: MS

PhD. Divino Eterno Teixeira  
Serviço Florestal Brasileiro – SFB  
Laboratório de Produtos Florestais – LPF

Prof. Dr. Alexandre Florian da Costa  
Universidade de Brasília – UnB  
Departamento de Engenharia Florestal – EFL

Mestrando em Ciências Florestais Marcelo Fontana da Silveira  
Serviço Florestal Brasileiro – SFB  
Laboratório de Produtos Florestais – LPF

julho/2016

## SUMÁRIO

1. Introdução .....	01
2. Objetivo.....	02
3. Revisão bibliográfica .....	02
3.1. Características Gerais da Espécie <i>Dendrocalamus asper</i> .....	02
3.2. Características biológicas, morfológicas e anatômicas .....	03
3.3. Propriedades químicas e físicas do bambu .....	04
3.4. Ataque de fungos ao bambu .....	05
3.5. Tratamento químico .....	05
3.6. Bambu Compensado .....	06
3.7. Testes Mecânicos .....	06
4. Materiais e Métodos .....	07
4.1. Seleção e preparo do material .....	07
4.2. Tratamentos preservativos .....	09
4.3. Confeção dos painéis .....	11
4.4. Ataque acelerado de fungos .....	14
4.5. Perda de massa .....	16
4.6. Testes físicos e mecânicos .....	17
4.6.1. Massa Específica Aparente (MEA) .....	17
4.6.2. Teor de Umidade (TU) .....	18
4.6.3. Inchamento em espessura (IE) e Absorção (AA) .....	19
4.6.4. Flexão Estática .....	19
4.6.5. Stress Wave Timer .....	21
4.6.6. Cisalhamento na linha de cola .....	22
4.7. Análises estatísticas .....	22
5. Resultados e Discussão .....	23
5.1. Ataque acelerado de fungos apodrecedores .....	23
5.2. Testes físicos e mecânicos .....	25
5.2.1. Massa Específica Aparente (MEA) .....	25
5.2.2. Teor de Umidade (TU) .....	28
5.2.3. Inchamento e Absorção (IE e AA) .....	29
5.2.4. Flexão Estática .....	34

5.2.5. Stress Wave Timer .....	39
5.2.6. Cisalhamento na linha de cola .....	42
6. Conclusões .....	45
7. Referências bibliográficas .....	46

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Colmos de <i>Dendrocalamus asper</i> .....	08
Figura 2: Taliscas de <i>Dendrocalamus asper</i> .....	08
Figura 3: Solubilização do preservante Jimo Ecomofó .....	10
Figura 4: Lâminas de <i>Dendrocalamus asper</i> recebendo tratamento preservativo com preservante Jimo TBF.....	10
Figura 5: Lâminas prensadas com auxílio de sargento e grampos .....	11
Figura 6: Lâminas confeccionadas pela colagem lateral de lâminas de <i>Dendrocalamus asper</i> .....	12
Figura 7: Lâminas de <i>Dendrocalamus asper</i> na sala de climatização do LPF/SFB .....	12
Figura 8: Lâminas de <i>Dendrocalamus asper</i> atacadas por inseto xilófago .....	13
Figura 9: Lâminas de <i>Dendrocalamus asper</i> , em cima de balança digital, recebendo cola PUR.....	13
Figura 10: Lâminas de <i>Dendrocalamus asper</i> recebendo espalhamento de cola PUR.....	14
Figura 11: Lâminas de <i>Dendrocalamus asper</i> sendo coladas de forma cruzada.....	14
Figura 12: Procedimento de inoculação nos corpos de prova, após repicagem dos fungos .....	15
Figura 13: Frascos esterilizados em autoclave após inoculação dos fungos nos corpos de prova, prontos para serem levados à incubadora .....	15
Figura 14: Marcador utilizado para determinar os pontos medidos nos corpos de prova .....	17
Figura 15: Relógio digital medidor de espessura .....	18

Figura 16: Corpo de prova disposto na máquina universal, com auxílio de relógio comparador .....	20
Figura 17: Máquina universal de ensaios mecânicos .....	20
Figura 18: Aparelho Stress Wave, com pêndulos fixados em material plano e medidor de tempo, em azul .....	21
Figura 19: Corpo de prova sob ação da máquina universal de ensaios .....	22
Figura 20: Gráfico de Perda de massa, em percentagem, para <i>Gloeophyllum trabeum</i> <i>Trametes versicolor</i> .....	25
Figura 21: Massa Específica Aparente dos painéis de compensado .....	27
Figura 22: Amostra apresentando encanoamento na primeira camada de colagem .....	29
Figura 23: Inchamento em espessura dos painéis de compensado.....	31
Figura 24: Absorção de água dos painéis de compensado .....	33
Figura 25: Gráfico de MOE paralelo e perpendicular dos painéis de compensado .....	36
Figura 26: Gráfico de MOR paralelo e perpendicular dos painéis de compensado.....	38
Figura 27: Gráfico de MOEd paralelo e perpendicular dos painéis de compensado .....	40
Figura 28: Gráfico de correlação entre MOE e MOEd paralelos e perpendiculares dos painéis de compensado.....	42
Figura 29: Gráfico de correlação entre MOR e MOEd paralelos e perpendiculares dos painéis de compensado.....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de resistência à deterioração em relação à perda do material.....	16
Tabela 2: Valores médios de perda de massa, em percentagem, para <i>Gloeophyllum trabeum</i> e <i>Trametes versicolor</i> .....	23
Tabela 3: ANOVA para perda de massa, em percentagem, para <i>Gloeophyllum trabeum</i> e <i>Trametes versicolor</i> .....	24
Tabela 4 – Valores médios de massa específica aparente dos painéis de compensado.....	26
Tabela 5 – ANOVA da massa específica aparente dos painéis de compensado.....	26
Tabela 6 – Valores médios de teor de umidade dos painéis de compensado.....	28
Tabela 7 – Valores médios de massa específica aparente dos painéis de compensado .....	29
Tabela 8 – ANOVA da massa específica aparente dos painéis de compensado.....	30
Tabela 9 – Valores médios de absorção de água dos painéis de compensado.....	31
Tabela 10 – ANOVA da absorção de água dos painéis de compensado .....	32
Tabela 11 – Valores médios de MOE paralelo e perpendicular dos painéis de compensado.....	34
Tabela 12 – ANOVA do MOE paralelo e perpendicular dos painéis de compensado.....	35

Tabela 13 – Valores médios de MOR paralelo e perpendicular dos painéis de compensado.....	36
Tabela 14 – ANOVA do MOR paralelo e perpendicular dos painéis de compensado.....	37
Tabela 15 – Valores médiosde MOEd paralelo e perpendicular dos painéis de compensado.....	39
Tabela 16 – ANOVA de MOEd paralelo e perpendicular dos painéis de compensado.....	41
Tabela 17 – Valores médios de resistência ao cisalhamento dos painéis de compensado.....	43
Tabela 18 – ANOVA da resistência ao cisalhamento dos painéis de compensado .....	43
Tabela 19 – Valores médios em percentagem de falha na madeira dos painéis de compensado.....	44



## **LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES**

AA – Absorção de Água

ABIMCI – Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada  
Mecanicamente

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

BLC – Bambu Laminado Colado

BORAX – Tetraborato de sódio decahidratado

EN – The European Standard

ECOMOFO – Extrato Vegetal

IE – Inchamento em Espessura

LPF – Laboratório de Produtos Florestais

MEA – Massa Específica Aparente

MOE – Módulo de Elasticidade

MOEd – Módulo de Elasticidade Dinâmico

MOR – Módulo de Ruptura

PVA – Acetato de polivinila

SFB – Serviço Florestal Brasileiro

TBF - Tribromofenato de sódio

TU – Teor de Umidade

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por esta conquista.

- Aos meus pais, por toda a educação prestada a mim para que alcançasse as conquistas necessárias ao meu crescimento e por todo amor prestado ao longo desta jornada, servindo como minhas maiores bases;
- Ao meu orientador Divino Eterno Teixeira, por todos os inúmeros ensinamentos, por toda paciência, dedicação e atenção que sempre prestou a mim, ajudando a crescer desde o início do estágio até o trabalho de conclusão de curso;
- Ao meu coorientador Alexandre Florian da Costa, por todo o apoio oferecido e todos os grandes ensinamentos que pude absorver ao longo desta jornada, reconhecendo que sem seus ensinamentos este trabalho não seria o mesmo;
- A empresa Jimo Química Industrial LTDA, na pessoa do senhor Leonardo, gerente de Pesquisa e Desenvolvimento, pela concessão dos produtos químicos, Jimo Ecomofó e Jimo TBF concentrado, e pelas informações prestadas dos mesmos, sem as quais não seria possível a realização desse estudo;
- Aos professores do departamento de Engenharia Florestal que muito me ensinaram ao longo de minha vida acadêmica;
- A professora Regina Célia de Oliveira, por ter despertado meu gosto pela pesquisa ao longo da graduação;;
- Aos meus amigos, que não me deixaram desistir e nem me abalar em situação alguma, me impulsionando a subir cada dia mais;
- A Universidade de Brasília (UnB) e ao Serviço Florestal Brasileiro (SFB) e seu Laboratório de Produtos Florestais (LPF), que contribuíram com o desenvolvimento desse trabalho;
- Aos profissionais do LPF: Lula, Alessandro, Gregório, João, Marcelo, Fernando, Getúlio, Peter, Luciano e Ricardo, que muito me auxiliaram com o trabalho;
- Ao CAPB, pelo material cedido;
- Ao CNPQ, pela concessão da bolsa de pesquisa;
- A todos que, de alguma forma, estiveram presentes durante o desenvolvimento desse trabalho, o meu muito obrigada!

## RESUMO

O estudo teve por objetivo avaliar as propriedades físicas, mecânicas e biológicas do bambu *Dendrocalamus asper* tratado quimicamente com Tetraborato de sódio decahidratado (Borax), tribromofenato de sódio (Jimo TBF concentrado) e Extrato vegetal natural (Jimo Ecomof). Logo após, painéis de compensado foram produzidos com as taliscas de bambu tratadas. Para o ensaio biológico, amostras dos painéis foram submetidos ao ataque dos fungos apodrecedores de podridão branca e parda, sendo respectivamente *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*. A produção do compensado, assim como a realização dos ensaios, foi realizada no Laboratório de Produtos Florestais, do Serviço Florestal Brasileiro – SFB. As propriedades físicas dos painéis avaliadas foram: Massa Específica Aparente (MEA); Absorção de Água (AA) e Inchamento em Espessura (IE). As propriedades mecânicas avaliadas foram: Flexão Estática (MOR e MOE); MOEdinâmico (MOEd) e Cisalhamento na linha de cola. Os resultados obtidos para os quatro tratamentos nos experimentos realizados foram satisfatórios. A partir dos resultados encontrados, pode-se concluir que houve pouca diferença entre os tratamentos, bem como todos os tratamentos químicos são indicados para uso, uma vez que obtiveram valores superiores aos mínimos exigidos. O tratamento com Tetraborato de sódio decahidratado (Borax) foi o mais eficaz tanto para *Gloeophyllum trabeum*, quanto para *Trametes versicolor*. Os tratamentos químicos causaram diminuição da MEA dos compensados. Além disso, o teste Stress Wave Timer se mostrou uma tecnologia em potencial para estimativa do módulo de elasticidade.

Palavras-chave: Fonte renovável, Compensado de bambu, *Dendrocalamus asper*, resistência física, resistência mecânica, biodegradação.

## ABSTRACT

This study aimed at evaluating the physical, mechanical and biological properties of the bamboo *Dendrocalamus asper* chemically treated with decahydrated sodium tetraborate (Borax), sodium tribromofenate (concentrated Jimo TBF) and natural vegetal extract (Jimo Ecomof). Following bamboo treatment, plywood panels were manufactured with treated bamboo strips. Specimens of the panels were submitted to the attack of brown and white root fungi according to ASTM D2017, respectively, *Trametes versicolor* and *Gloeophyllum trabeum*. The production of the plywood and testing was performed at the Forest Products Laboratory (LPF) of the Brazilian Forest Service (SFB). The physical properties of apparent specific mass (MEA), water absorption (AA) and thickness swelling (IE) were evaluated. Mechanical properties evaluated were static bending (MOR and MOE), dynamic MOE and shear at the glueline. The results for the four treatments were above the requirements. It may be concluded, based in the results that fewer differences were obtained among the treatments, as well as the chemical treatments were effective. The treatment with borax was very effective in conferring high resistance to the attack of both fungi tested. The chemical treatments caused a decrease in the MEA of the panels. The stress wave test showed good technical potential for estimating the modulus of elasticity.

Keywords: Renewable Source, plywood bamboo, *Dendrocalamus asper*, Physical resistance, Mechanical resistance, biodegradation.

## 1. INTRODUÇÃO

Bambu é uma espécie vegetal que possui cerca de 45 gêneros e 1.300 espécies diferentes, todas de origem asiática. No Brasil, são encontrados 34 gêneros e 232 espécies (Souza & Bourscheid, s/d). É uma planta monocotiledônea de origem tropical, de rápido crescimento, sendo considerado um importante regenerador ambiental devido ao seu sistema radicular (Marinho, *et. al.* 2012).

Segundo Marinho *et. al.* 2012, a espécie *Dendrocalamus giganteus*, conhecida popularmente por bambu-gigante, é uma espécie entouceirante de grande porte, cujos colmos podem variar de 24 a 40 metros de altura, com diâmetros entre 10 e 20 cm.

O bambu protege o solo, seqüestra carbono rapidamente e pode ser utilizado junto com outras madeiras, em reflorestamentos, sendo capaz de fornecer alimento e matéria-prima de boa qualidade, podendo contribuir para evitar o corte cada vez mais acentuado de florestas tropicais (Beraldo e Pereira, 2007).

Segundo Marinho (2012), o aumento da demanda por madeira e a redução da sua disponibilidade tem direcionado investigações para o aproveitamento de materiais alternativos, naturais e renováveis. Constituído por fibras de elevada resistência mecânica e uma das maiores taxas de crescimento, o bambu surge como uma alternativa promissora para o uso industrial.

O bambu é um material renovável, de baixo custo e encontrado em abundância em regiões tropicais e subtropicais. No entanto, a maior parte das espécies de bambu é altamente suscetível ao ataque de fungos e insetos. Basicamente, pode-se aumentar a durabilidade dos colmos de bambu de duas maneiras: por procedimentos culturais (naturais) e/ou pelo tratamento dos colmos com produtos químicos (Espelho & Beraldo, 2008).

Lima *et. al.*(2014), realizaram um estudo experimental de vigas de bambu laminado colado (BLC), semelhante ao compensado de bambu. O material foi classificado como apto à sua utilização e que vigas fabricadas com BLC podem

ser dimensionadas conforme o código normativo estabelecido pela NBR 7190 (ABNT, 1997).

Apesar dos produtos feitos com bambu não serem aplicados em larga escala, atualmente, no país, há um grande potencial que certamente será explorado futuramente, o que pode ser observado pelos seus crescentes usos no mercado da construção civil. A tendência, então, é que em pouco tempo sejam produzidos e utilizados em maior escala, tornando seu custo acessível e viabilizando projetos (Souza & Bourscheid, s/d).

## **2. OBJETIVO**

O presente estudo tem por objetivo avaliar as propriedades físicas (Massa específica aparente, absorção de água e inchamento em espessura), mecânicas (Flexão Estática, Módulo de elasticidade dinâmico e cisalhamento na linha de cola) e biológicas de painéis de compensado de bambu *Dendrocalamus asper* ao ataque dos fungos apodrecedores de podridão branca e parda, sendo respectivamente *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*. Para isto, os bambus foram submetidos ao tratamento químico com Tetraborato de sódio decahidratado (Borax), tribromofenato de sódio (Jimo TBF concentrado) e Extrato vegetal natural (Jimo Ecomofó).

## **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 Características Gerais da Espécie *Dendrocalamus asper***

*Dendrocalamus asper* é uma espécie de bambu comum no Brasil. O bambu é uma gramínea, família Poaceae, monocotiledônea de origem tropical. É amplamente conhecida na cultura oriental e cada vez mais crescente na cultura ocidental. É caracterizada pelo seu rápido crescimento vegetativo e possui boas características de cunho regenerativo para nascentes e corpos d'água, devido ao seu sistema radicular.

A espécie *Dendrocalamus asper*, também é conhecida como *Dendrocalamus giganteus*. Esta modificação foi comprovada recentemente na tese de mestrado de Prates *et al.* (2013).

Segundo Marinho *et. al.* 2012, em que se avaliou quimicamente a espécie *Dendrocalamus giganteus*, a mesma é popularmente conhecida por bambu-gigante, sendo uma espécie entouceirante de grande porte, cujos colmos podem variar de 24 a 40 metros de altura, com diâmetros entre 10 e 20 cm.

De acordo com Pereira & Beraldo (2008), sua distribuição natural ocorre no Sri Lanka, Bangladesh, China, Nepal e Tailândia, ocorrendo principalmente em regiões tropicais úmidas e regiões subtropicais.

### **3.2 Características biológicas, morfológicas e anatômicas**

Pereira & Beraldo (2008) comentam que o colmo do bambu nasce com o diâmetro que terá por toda a vida. O diâmetro decresce da base em direção ao topo, mas não aumenta com o passar dos anos. O colmo completa seu crescimento poucos meses após o surgimento do broto, alcançando altura máxima entre 30 a 180 dias. Os colmos brotam anualmente, geralmente na estação chuvosa. O processo de amadurecimento para a maioria das espécies ocorre em 3 a 4 anos.

O bambu apresenta altura dos colmos de 24 a 40 m, diâmetro dos colmos de 10 a 20 cm e espessura da parede de 1 a 3 cm (Pereira & Beraldo, 2008). O colmo é cilíndrico e é dividido em seções por diafragmas ou nós. A secção entre dois nós é chamado de entrenós. O colmo gradualmente desenvolve ramos e folhas. Como o colmo amadurece, e lignifica torna-se mais forte. O colmo não fica mais espesso a cada ano. Ao contrário de árvores, bambus não têm qualquer crescimento secundário (Kigomo, 2007).

Os colmos caracterizam-se pela ausência de raios, o que lhes confere vantagem durante o corte longitudinal, e desvantagem durante a realização de ligações com parafusos e pregos (Pereira & Beraldo, 2008).

O colmo do bambu é composto principalmente de parênquima (50%) e fibras (40%). O parênquima, muito abundante no tecido do bambu é o principal responsável pelo ataque de insetos xilófagos por estocar nutrientes e água e à

medida que o colmo envelhece, a umidade no parênquima decresce (Pereira & Beraldo, 2008).

### **3.3 Propriedades químicas e físicas do bambu**

De acordo com Pereira & Beraldo (2008), a maior parte das espécies de bambu são altamente suscetíveis ao ataque de fungos e insetos, podendo este fato ser modificado por procedimentos culturais (naturais) e pelo tratamento dos colmos com produtos químicos, aumentando a durabilidade dos colmos de bambu.

Segundo Liese (1985), os principais constituintes do colmo são a celulose, hemicelulose e lignina, tendo ainda constituintes menores como resinas, ceras taninos e sais inorgânicos. A composição varia de acordo com a espécie, as condições de crescimento, a idade do bambu e a parte do colmo. Isto ocorre pelo amadurecimento do bambu, tornando-se duro e forte, alterando durante este período a proporção de lignina e hidratos de carbono. No entanto, após a maturação completa do colmo, a composição química tende a permanecer constante.

O teor de umidade varia dentro de um colmo e é influenciada pela sua idade, a temporada de abate e a espécie. Os colmos jovens têm um alto teor de umidade relativa, cerca de 120-130%, tanto na parte inferior e superior. Os nós, no entanto, mostram menores valores do que os entrenós. Em colmos de 3-4 anos, a base tem um teor de umidade mais elevado que o topo. Caminhos para a penetração de água são apenas das extremidades transversais do colmo e, em muito menor medida, das cicatrizes da bainha em torno dos nodos (Liese, 1985).

Em comparação com madeiras de mesma massa específica aparente, a fase de secagem necessária, tanto pelo método ao ar livre quanto pelo método de secagem em estufa, é maior devido ao maior teor de umidade inicial e a presença de extrativos solúveis em água no parênquima das células (Liese, 1985).

De acordo com Liese (1985) *apoud.* Janseen (1981), as propriedades mecânicas estão correlacionadas com a massa específica aparente. O bambu possui ótimas propriedades mecânicas. Estas dependem principalmente do teor de fibras e variam consideravelmente dentro do colmo e entre espécies.



### **3.4 Ataque de fungos ao bambu**

O bambu é um material renovável e de baixo custo, encontrado em abundância em regiões tropicais e subtropicais; no entanto, a maior parte das espécies de bambu é altamente suscetível ao ataque de fungos e insetos (Pereira & Beraldo, 2008).

Segundo Ferreira (2010), o bambu é considerado um material susceptível ao ataque de fungos e insetos xilófagos por causa da sua constituição fibrosa e rica em materiais nutritivos. A importância desse material de ampla utilização exige que sejam feitos tratamentos, utilizando-se substâncias preservativas em suas fibras, para que possa atender aos quesitos de durabilidade.

### **3.5 Tratamento químico**

Segundo Beraldo *et. al.* (2013), a baixa durabilidade do bambu é um dos maiores problemas que impedem o uso do mesmo como um material de construção.

Basicamente, pode-se aumentar a durabilidade dos colmos de bambu de duas maneiras: por procedimentos culturais (naturais) e pelo tratamento dos colmos com produtos químicos (Pereira & Beraldo, 2008).

Segundo Ferreira (2010), os produtos químicos são os mesmos utilizados no tratamento da madeira e devem apresentar as seguintes características: ser suficientemente ativos para impedir a vida e o desenvolvimento de microorganismos; não afetar os tecidos de bambu alterando suas propriedades físico-mecânicas e que sejam solúveis em água.

De acordo com Rivero & Beraldo (2003) *apoud.* Azzini & Beraldo (2001), para o tratamento do bambu existem métodos tradicionais e químicos. Os tradicionais subdividem-se em: maturação no local da colheita, maturação por imersão, tratamento com fogo e tratamento com fumaça. Os químicos podem ser à base de diversos produtos: oleosos, oleossolúveis, hidrossolúveis, imersão em solução de sais hidrossolúveis e substituição de seiva por sais hidrossolúveis.

### **3.6 Bambu Laminado Colado (BLC)**

De acordo com Rivero & Beraldo (2003), estudos sobre madeira laminada colada encontram-se bastante desenvolvidos, pois desde 1934, quando surgiu nos EUA, tal material vem sendo fabricado em vários países. Países asiáticos já produzem pisos de laminado colado de bambu (BLC) desde a década de 80. No Brasil ocorrem espécies de bambu aparentemente adequadas para esta finalidade como, por exemplo, o *Dendrocalamus giganteus* e o *Bambusa vulgaris*.

Para se conseguir uma boa ligação adesiva é recomendável: Remover o pó, óleo ou qualquer outro material capaz de reter o ar ou impedir o contato do adesivo com o aderente, eliminar qualquer composto orgânico desprovido de afinidade atrativa com o adesivo, as proporções da mistura resina e catalisador devem ser rigorosamente atendidas, aplicar uma pequena pressão, para desenvolver adequadamente a cura do adesivo, aplainar as superfícies muito rugosas promovendo um contato íntimo e melhor fluxo do adesivo e durante a secagem ou cura o adesivo não deve sofrer retrações exageradas, responsáveis por tensões excessivas nas ligações (Rivero & Beraldo, 2003).

### **3.7 Testes mecânicos**

De acordo com Souza & Teixeira (2002), as chapas de compensado são os compostos de madeira mais conhecidos dos brasileiros e é o produto com maior resistência mecânica, sendo maior inclusive que a madeira maciça. Os mais comuns encontrados no mercado são os para uso interior (a base de uréia) e os para uso exterior (fenólicos), podendo vir cobertos com lâminas decorativas, plastificados lisos, resinados e preservados.

De acordo com Rivero & Beraldo (2003), em que se avaliou o tipo de tratamento, o tipo de corte ideal e a forma de colagem de lâminas de bambu, sendo testadas as espécies de bambu gigante (*D. giganteus*) e bambu verde (*B. vulgaris*) para a confecção de laminado colado e contraplacado, bem como avaliados dois tipos de adesivos à base de uréia-formol e à base de resorcinol-formol, o bambu laminado colado, confeccionado com o adesivo à base de resorcinol-formol, mostrou resistência adequada podendo ser indicado para a

fabricação de cabos de ferramentas. O Contraplacado, por sua vez, confeccionado com adesivo à base de uréia-formol, pode servir para a confecção de mesas, assentos e encostos de cadeira.

Pelo trabalho de Berndsen *et. al.* (2013), em que se estudou a resistência à flexão estática e compressão paralela do bambu-mossô, os resultados apresentaram tendência crescente da resistência na flexão estática com a idade e com a posição do colmo em termos absolutos. Para o MOE teve a mesma tendência de aumento da resistência com a idade e com a posição. Os ensaios demonstraram estatisticamente que não houve efeito significativo da interação entre a idade e a posição do colmo. A densidade aparente apresentou uma correlação linear e positiva no teste de flexão estática quanto aos valores do MOR e do MOE.

#### **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

A análise e os ensaios, tanto físicos e mecânicos quanto de biodeterioração, foram realizados no Laboratório de Tecnologia da Madeira do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, no Setor de Biodegradação e Preservação de Madeiras e no Laboratório de Engenharia e Física da Madeira, no Laboratório de Produtos Florestais – LPF/SFB.

Foram determinadas as seguintes propriedades: Resistência à flexão: Módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE), em conformidade com a norma EN 310 (1993); Massa específica Aparente (MEA) e absorção de água e inchamento em espessura: conforme a norma ASTM D1037 (1999); Cisalhamento e falha na linha de cola:em conformidade com a norma ABNT NBR ISO 12466-1.

Também foram testados em relação ao ataque de fungos apodrecedores, pela perda de massa: de acordo com a norma ASTM D2017-05 adaptada.

##### **4.1 Seleção e Preparo do Material**

Na escolha do material foram selecionados colmos de *Dendrocalamus asper* em boas condições, sem tratamento prévio e com o mínimo de ataques bióticos possíveis, sendo estes obtidos no Centro de Pesquisa e Aplicação de

Bambu e Fibras Naturais (CPAB/UnB). Posteriormente, os mesmos foram enviados ao setor de carpintaria do Laboratório de Produtos Florestais (LPF/SFB), para preparo dos corpos de prova.

Os colmos foram cortados com uma serra circular e, em seguida, transformados em peças que cobrem toda a espessura, usando uma serra de fita. Os diafragmas de bambu também foram removidos usando a serra de fita. As peças foram então aplainadas no lado interno (sem casca) e a largura ajustada entre 20 e 30 mm. Logo abaixo, seguem algumas figuras dos colmos e taliscas utilizadas para a confecção das lâminas:



Figura 1: Colmos de *Dendrocalamus asper* (Fonte: Acervo Pessoal).



Figura 2: Taliscas de *Dendrocalamus asper* (Fonte: Acervo pessoal).

Em seguida, as lâminas foram removidas de cada peça em uma tupia, equipada com uma fresa circular. Para cada ripa, uma média de duas lâminas foram cortadas. As lâminas finais exibiram entre 20 e 30 mm de largura e entre 500 e 600 mm de comprimento. A espessura das lâminas variaram entre 1,0 e 2,4 mm.

Ainda no setor de carpintaria foram produzidas um total de 720 lâminas de bambu, sendo 180 lâminas por tratamento, com dimensões de 300 x 25 x 2 mm (comprimento, largura e espessura, respectivamente) para confecção dos painéis de compensado. Antes de produzir os compensados, as lâminas foram destinadas à sala de climatização do LPF/SFB, para estabilização da umidade e proteção ao

ataque de insetos, e sendo então submetidas aos tratamentos preservativos por imersão.

Após este procedimento, o material foi encaminhado para a produção de compensados, contendo dimensões de 300 x 300 x 10 mm, sendo comprimento, largura e altura respectivamente, e produção das amostras de biodeterioração, contendo dimensões de 20 x 20 x 10 mm.

Foram testados quatro tratamentos, sendo um bloco para testemunha e três produtos preservativos pra bambu (Borax, TBF concentrado Jimo e Ecomofó Jimo). Para cada tratamento, foram confeccionados três chapas de compensado, conforme dimensões descritas anteriormente, e destas, retiradas as amostras para ensaios físicos, mecânicos e de biodeterioração.

## **4.2 Tratamentos preservativos**

Para o estudo, foram utilizados o Tetraborato de sódio decahidratado (Borax), o tribromofenato de sódio (Jimo TBF concentrado) e o Extrato vegetal natural (Jimo Ecomofó), fornecidos pela indústria Jimo Química Industrial LTDA.

A quantidade dos preservantes utilizados e a duração seguiram as indicações do fabricante, sendo uma semana de imersão para o borax e um minuto para imersão com o Jimo TBF e o Jimo Ecomofó.

Para o tratamento com Jimo Ecomofó e com Jimo TBF concentrado, foi utilizado o método de imersão das amostras, por um minuto. Anteriormente a isto, o produto foi solubilizado em água, seguindo as recomendações do fabricante, com presença de um químico especializado. Foi adotada então a proporção de 1:50 partes. Tais procedimentos ocorreram de acordo com as Figuras 3 e 4:



Figura 3: Solubilização do preservante Jimo Ecomof, de acordo com recomendações técnicas do fabricante, para inserção das lâminas de bambu(Fonte: Acervo pessoal).



Figura 4: Lâminas de *Dendrocalamus asper* recebendo tratamento preservativo com preservante Jimo TBF(Fonte: Acervo pessoal).

Após o tratamento químico, o material foi levado para secagem ao ar livre por 72 horas e encaminhado à sala de climatização para estabilização da umidade. Quando estabilizada, as lâminas receberam o mesmo procedimento que as lâminas sem tratamento químico sendo, portanto, coladas lateralmente com cola Cascorez Extra (à base de PVA), com gramatura de 100 g/m<sup>2</sup> e prensagem manual e retornando à sala de climatização até sua variação de umidade estabilizar.

No tratamento com borax, as lâminas foram tratadas por imersão durante uma semana, no qual o produto químico permaneceu em constante agitação, evitando a decantação do produto e melhor absorção pelas lâminas.

Após este procedimento, as mesmas foram secas ao ar livre por 72 horas e levadas à sala de climatização para estabilização da umidade. Posteriormente, foram coladas lateralmente com cola branca Cascorez Extra (à base de PVA, com teor de sólidos entre 44% a 46%, viscosidade entre 6000 e 8000 cP e pH entre 4 e 5), com gramatura de 100 g/m<sup>2</sup> e retornaram à sala de climatização até massa constante, do mesmo modo que as lâminas testemunha e dos preservativos Jimo Ecomofó e TBF receberam.

Quando todas as lâminas coladas lateralmente obtiveram massa constante, foram confeccionados os painéis, de acordo com os tratamentos seguidos, sendo três painéis para cada tratamento (Borax, Jimo TBF concentrado e Jimo Ecomofó) e para a testemunha (sem tratamento).

#### **4.3 Confeção dos painéis**

Todas as lâminas foram medidas com auxílio de paquímetro digital para maior precisão da largura dos painéis, lixadas com auxílio de uma lixa número 80 e coladas lateralmente com auxílio de cola branca Cascorez, sendo colocadas então por 24 horas cada uma em prensa manual (quatro grampos e dois sargentos para cada colagem realizada). Este procedimento visou o auxílio na próxima etapa, que consiste na colagem das camadas formadoras dos painéis, como mostram as Figuras 5 e 6:



Figura 5: Lâminas prensadas com auxílio de sargento e grampos (Fonte: Acervo Pessoal).



Figura 6: Lâminas confeccionadas pela colagem lateral de lâminas de *Dendrocalamus asper* (Fonte: Acervo Pessoal).

Após a colagem lateral, as lâminas de 30 x 30 x 10 mm retornaram à sala de climatização de forma arejada, até que sua massa fosse estabilizada, como demonstra a Figura 7:



Figura 7: Lâminas de *Dendrocalamus asper* na sala de climatização do LPF/SFB (Fonte: Acervo pessoal).

Foi observado ainda, que durante o procedimento de estabilização de umidade, algumas lâminas estavam com sinais de ataque de insetos, provavelmente *Dinoderus minutus*. Tal fato pode ser explicado por, apesar de a sala de climatização ser um local fechado e protegido, as lâminas terem entrado em contato com o inseto anteriormente à sua chegada na sala, de forma que os insetos permaneceram dentro do material, se alimentando do mesmo (Figura 8).





Figura 8: Lâminas de *Dendrocalamus asper* atacadas por inseto xilófago(Fonte: Acervo pessoal).

Para formação dos painéis de compensado, as folhas foram coladas de forma cruzada de acordo com o sentido das fibras das lâminas, ou seja, uma folha na horizontal, a subsequente na vertical e assim por diante, até a formação das cinco camadas. Foram utilizadas espátulas para espalhamento da cola à base de poliuretano (cola PUR da marca Tekbond, de densidade 1,08 a 1,14 g/cm<sup>3</sup>, viscosidade de 6500 a 8500 cps e teor de sólidos entre 97% e 98%) e balança digital para quantificação de cola utilizada por meio da medição de massa adicionada, utilizando gramatura de 150 g/m<sup>2</sup> de acordo com a norma. As Figuras 9, 10 e 11 ilustram o procedimento de formação dos painéis.



Figura 9: Lâminas de *Dendrocalamus asper*, em cima de balança digital, recebendo cola PUR(Fonte: Acervo pessoal).



Figura 10: Lâminas de *Dendrocalamus asper* recebendo espalhamento de cola PUR(Fonte: Acervo pessoal).

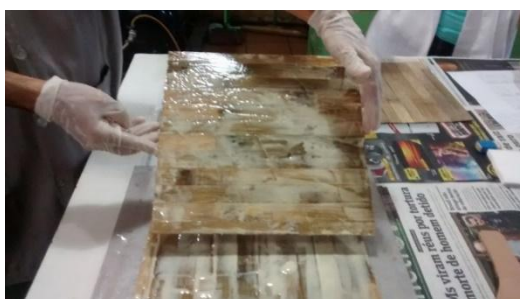


Figura 11: Lâminas de *Dendrocalamus asper* sendo coladas de forma cruzada(Fonte: Acervo pessoal).

Após a montagem de cinco camadas, cada painel foi levado à prensa hidráulica pelo período de 12 horas com pressão de 10 kgf/cm<sup>2</sup>. Desta forma, foram confeccionados três painéis por tratamento e testemunha (totalizando 12 painéis), com dimensões de 300 x 300 x 10 mm, sendo comprimento, largura e altura, respectivamente.

#### 4.4 Ataque acelerado de fungos

Para uma precisa avaliação do ataque dos fungos apodrecedores, é adotada a norma ASTM D 2017 (ASTM, 2005). Foram utilizados um total de 144 corpos de prova, sendo 18 destinados ao fungo de podridão branca (*Trametes versicolor*) e 18 destinados ao fungo de podridão parda (*Gloeophyllum trabeum*), de cada um dos três tratamentos químicos (Jimo Ecomof, Jimo TBF e Borax) e testemunha (sem tratamento). Também foram utilizados mais 16 corpos de prova da espécie *Pinus sp.* e 16 da espécie *Embaúba*, que serviram como corpos de

prova controle, dos dois fungos escolhidos. Sendo assim, foi utilizado um total de 176 corpos de prova para os testes.

Os corpos de prova contém dimensões de 20x20 x 10 mm, obtidos a partir do corte dos painéis confeccionados anteriormente. Os fungos de podridão branca e parda foram obtidos da micoteca do Setor de Biodegradação do Laboratório de Produtos Florestais – LPF/SFB.

Para os testes, os corpos de prova foram pesados em balança digital com quatro casas decimais até sua umidade estabilizar, considerando-se massa constante quando suas pesagens sucessivas, apresentaram variação máxima de 0,1% em relação à massa da última pesagem.

Após estabilizar sua umidade, os corpos de prova foram colocados em contato com os fungos repicados de acordo com o procedimento da norma ASTM D 2017-05, como mostram as Figuras 12 e 13:



Figura 12: Procedimento de inoculação nos corpos de prova, após repicagem dos fungos (Fonte: Acervo pessoal).

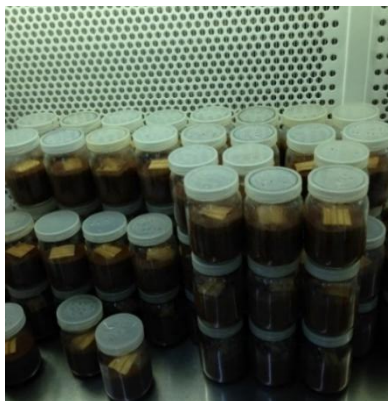


Figura 13: Frascos esterilizados em autoclave após inoculação dos fungos nos vidros, prontos para serem levados à incubadora (Fonte: Acervo pessoal).

Posteriormente, os frascos contendo o material citado, foram colocados em incubadora, pelo período mínimo de 8 semanas, podendo chegar a 16 semanas, sendo retirados dois corpos de prova controles por semana para quantificação da perda de massa. Após este procedimento, as amostras foram retiradas, limpas com pincel e levadas para a quantificação de perda de massa.

#### 4.5 Perda de massa

Para determinar a perda de massa ocasionada pelo ataque dos fungos, foi utilizada a Equação (1), de acordo com a norma ASTM D 2017-05:

$$PM = \frac{(M_i - M_f)}{M_f} * 100$$

Equação (1)

Onde:

PM = perda de massa, em %;

$m_i$  = massa da amostra antes do ataque do fungo, em gramas;

$m_f$  = massa da amostra após o ataque do fungo, em gramas.

Assim, foi possível determinar a perda de massa em relação aos tratamentos. Para avaliar a resistência do bambu à biodeterioração em relação à perda do material, foi utilizada a classificação sugerida pela ASTM D 2017-05, como mostra na Tabela 1:

Tabela 1 - Classes de resistência à deterioração em relação à perda de massa do material.

<b>Perda de massa média (%)</b>	<b>Média residual média (%)</b>	<b>Classe de resistência</b>
0 a 10	90 a 100	Altamente resistente
11 a 24	76 a 89	Resistente
25 a 44	56 a 75	Moderadamente resistente
Maior que 45	Menor que 55	Pouco ou não resistente

Fonte: ASTM D 2017, 2005.

## 4.6 Testes físicos e mecânicos

### 4.6.1 Massa Específica Aparente (MEA)

Para determinação da densidade da espécie *Dendrocalamus asper*, de acordo com o preservante químico utilizado em cada painel, foram retirados corpos de prova com dimensões de aproximadamente 230 x 50 x 10 mm, sendo comprimento, largura e altura, respectivamente. As dimensões e os procedimentos adotados seguiram recomendações da norma EN 310:1993, utilizada para realização dos testes de flexão estática.

A partir destes corpos de prova, os mesmos utilizados posteriormente no teste de flexão estática, foram medidas sua massa (por meio de balança digital, dada em gramas) e suas dimensões, de forma que foram coletados em três pontos distintos a largura, em cinco pontos distintos a espessura e em dois pontos distintos o comprimento do corpo de prova, de acordo com o marcador utilizado na Figura 14:



Figura 14: Marcador utilizado para determinar os pontos medidos nos corpos de prova (Fonte: Acervo pessoal).

Para medição das dimensões das amostras, foi utilizado paquímetro digital e relógio comparador medidor de espessura, conectados a um computador portador do Programa Excel, no qual os dados foram captados de forma prática, como mostra a Figura 15:



Figura 15: Relógio digital medidor de espessura (Fonte: Acervo pessoal).

Desta forma, após coletados estes valores, foram determinadas as médias aritméticas de comprimento, largura e espessura, e, juntamente com os dados de massa em (g) coletadas pela balança digital, foram então realizados os cálculos de volume (v) para cada corpo de prova, de acordo com a Equação 2:

$$V = \text{Média dos comprimentos} \times \left( \frac{\text{Média das larguras}}{10} \right) \times \left( \frac{\text{Média das espessuras}}{10} \right)$$

Equação (2)

Sabendo-se que a densidade pode ser dada por:

$$D = \frac{\text{Massa}}{\text{Volume}}$$

Equação (3)

Têm-se então os valores de Massa Específica Aparente (MEA) para corpo de prova, podendo ser retiradas ainda suas médias, de acordo com cada tratamento químico adotado, de forma a analisar a influência do preservante químico na massa específica aparente do material em estudo.

#### 4.6.2 Teor de Umidade

Para determinação do teor de umidade de *Dendrocalamus asper* foram utilizados um total de 48 corpos de prova, sendo 12 para cada tratamento químico

utilizado e testemunha (sem tratamento). Os corpos de prova foram pesados com auxílio de balança digital e posteriormente colocados em estufa a  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  até estabilização da massa. Após isto, foram pesadas novamente e quantificada sua variação. As dimensões e os procedimentos adotados seguiram as recomendações da norma ASTM D1037 (1999).

#### **4.6.3 Inchamento em espessura e Absorção de água**

Para os testes de inchamento e absorção de água, foram utilizados um total de 48 corpos de prova, sendo 12 para cada tratamento químico utilizado e testemunha (sem tratamento). As dimensões e os procedimentos adotados seguiram recomendações da norma ASTM D1037 (1999), de forma que os testes foram realizados em períodos de 2 horas e 24 horas para medição dos corpos de prova.

#### **4.6.4 Flexão Estática**

Foram realizados testes de flexão estática em corpos de prova com fibras de sentido paralelo e perpendicular ao comprimento, sendo 12 e 4 corpos de prova, respectivamente, por tratamento. Vale ressaltar que o sentido adotado é referente à camada mais externa do painel. No caso da flexão estática paralela, foram utilizados 4 corpos de prova por painel e no caso de flexão estática perpendicular utilizou-se 1 corpo de prova para cada painel. Os mesmos foram obtidos a partir dos painéis confeccionados. As dimensões e os procedimentos adotados seguiram recomendações da norma EN 310:1993, que possibilita uma posterior análise dos módulos de elasticidade e ruptura, obtendo assim a determinação da resistência do material. As Figuras 16 e 17 ilustram os testes realizados.



Figura 16: Corpo de prova disposto na máquina universal, com auxílio de relógio comparador (Fonte: Acervo pessoal).



Figura 17: Máquina universal de ensaios mecânicos (Fonte: Acervo pessoal).

As Equações 4 e 5 foram utilizadas para as análises de acordo com a norma EN 310:1993, em que:

$$MOE = l1^3 x \frac{F2 - F1}{4 x B t^3 (a2 - a1)}$$

Equação (4)

Onde:

MOE = Módulo de elasticidade, em MPa;

l1 = Vão livre, em mm;

B = Largura, em mm;

t = Espessura, em mm;

F2 – F1 = Diferença de cargas dentro do limite proporcional, em kgf;

a2 – a1 = Diferença de deflecção dentro do limite proporcional, em mm.



E:

$$MOR = 3 \times F_{m\acute{a}x} \times \frac{l1}{2 \times B t^2}$$

Equação (5)

Onde:

MOR= Resistência à flexão, em MPa;

F<sub>máx</sub> = Carga máxima, em kgf;

l1 = Vão livre, em mm;

B = Largura, em mm;

t = Espessura, em mm.

#### 4.6.5 Stress Wave Timer

Também foi realizado teste de tempo de ondas, conhecido como Stress Wave, para obtenção dos valores de Módulo de Elasticidade dinâmico (MOEd), baseado na medição do tempo de propagação de ondas, no qual um pêndulo de metal é deslocado de forma que a onda gerada por tal objeto percorre o corpo de prova alcançando a outra extremidade e gerando valores de tempo, ilustrado na Figura 18.



Figura 18: Equipamento Stress Wave Timer, com pêndulos fixados em material plano e medidor de tempo, em azul (Fonte: Acervo pessoal).

A fórmula adotada para análise dos resultados deste teste, é dada por:

$$MOEd = d * V^2 * \frac{1}{g}$$

Equação (6)

Onde:

MOEd = Módulo de Elasticidade Dinâmico, em MPa;

V = Distância/tempo, em cm/s;

D = Densidade, em kg/cm<sup>3</sup>;

g = Aceleração da gravidade, dada por 980,4 cm/s<sup>2</sup>.

#### 4.6.6 Cisalhamento na linha de cola

Para os testes de cisalhamento na linha de cola, foram utilizados um total de 48 corpos de prova, sendo 12 para cada tratamento químico utilizado e testemunha. As dimensões e os procedimentos adotados seguiram recomendações da norma ABNT NBR ISO 12466-1, ilustrado na Figura 19.



Figura 19: Corpo de prova sob ação da máquina universal de ensaios (Fonte: Acervo pessoal).

#### 4.7 Análises estatísticas

Para a realização de análises estatísticas foi utilizado o programa Excel e o programa SPSS 13.0. O experimento foi configurado como um delineamento experimental fatorial, a partir dos quatro tratamentos (contando com a testemunha). Uma análise de variância de 5% de nível de significância foi utilizado para comparar os resultados e o teste de Tukey para comparação das médias.

No programa Excel foram realizados testes de ANOVA e outros parâmetros que auxiliam na avaliação e análise de resultados encontrados, por meio de fórmulas e gráficos. No programa SPSS foram ainda quantificados valores para os

ensaios mecânicos e permitiram uma melhor interpretação do comportamento do material.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Ataque Acelerado de Fungos

Devido ao fato do bambu ser considerado um material renovável e de baixo custo, porém altamente suscetível ao ataque de fungos e insetos xilófagos, obteve-se a hipótese de quantificar sua perda de massa, sob diferentes tratamentos químicos, a fim de avaliar a eficácia no tratamento de *Dendrocalamus asper* ao ataque de fungos apodrecedores. Abaixo, a Tabela 2 corresponde aos valores médios de perda de massa para os fungos de podridão branca e parda.

Tabela 2: Valores médios de perda de massa do compensado, em percentagem, para *Gloeophyllum trabeum* e *Trametes versicolor*.

	Tratamentos	Média (%)	Desvio-Padrão	N° de amostras	C.V. (%)
G.T.	A	5,92	2,53	18	42,75
	B	2,13	0,35	18	16,46
	E	5,41	3,88	18	71,84
	T	6,71	5,30	18	79,03
T.V.	A	16,23	8,28	18	51,04
	B	2,78	1,12	18	40,37
	E	14,85	7,07	17	47,58
	T	14,06	3,827	18	27,21

Em que: GT= *Gloeophyllum trabeum*; TV = *Trametes versicolor*; A = Sem tratamento químico; B = Tratamento com Borax; E = Tratamento com Ecomof; T = Tratamento com TBF.

Tendo como base a norma ASTM D2017 e sua respectiva tabela de classes de resistência, observa-se que o compensado de *Dendrocalamus asper* foi classificado como altamente resistente em relação ao fungo *Gloeophyllum trabeum*, visto que os valores médios variaram entre 2,13% e 6,71%. Em relação

ao fungo *Trametes versicolor*, o compensado é classificado como resistente, visto que seus valores médios encontram-se entre 2,78% e 16,24%.

Dado pelos valores médios encontrados na Tabela 2 tratados quimicamente com os produtos Borax, Ecomofó e TBF concentrado, observa-se que a maior perda de massa foi encontrada pelo tratamento T para *Gloeophyllum trabeum* pelo tratamento A para *Trametes versicolor*. O tratamento B foi o que obteve os menores valores médios de perda de massa, para os dois fungos apodrecedores, sendo então o mais eficaz.

Tabela 3: ANOVA para Perda de Massa, em porcentagem, para *Gloeophyllum trabeum* e *Trametes versicolor*.

	Fonte	Tipo III - SQ	Grau de liberdade	F	Significância
G.T.	Modelo corrigido	218,49	3	5,85*	0,01
	Intercepto	1832,52	1	147,26	1,12E-18
	C.P	218,49	3	5,85	0,01
	Erro	846,18	68		
	Total	2897,21	72		
	Total corrigido	1064,67	71		
T.V.	Modelo corrigido	2068,17	3	20,63*	1,4E-09
	Intercepto	10193,85	1	305,11	1,22E-26
	C.P	2068,17	3	20,63	1,4E-09
	Erro	2238,47	67		
	Total	14438	71		
	Total corrigido	4306,65	70		

Alfa= ,05; (\*) Significante ao nível de 5% de significância; GT= *Gloeophyllum trabeum*;

TV = *Trametes versicolor*.

A partir da ANOVA realizada acima, é possível observar que houve diferença estatística significativa tanto para o teste de Perda de massa em *Gloeophyllum trabeum*, quanto para o teste de Perda de massa em *Trametes versicolor*, visto que os valores de significância foram menores que o alfa, dado por 0,05.

Como outra forma de confirmação, foi realizado o teste de Tukey, em que para o teste de Perda de massa em *Gloeophyllum trabeum*, os tratamentos foram semelhantes, exceto pelo tratamento B, em que obteve-se valor discrepante, dado

por 2,13. Para o teste de perda de massa em *Trametes versicolor*, novamente o tratamento B foi o único a diferir, com valor discrepante dado por 2,78.

Obtêm-se ainda, a partir dos resultados encontrados, o gráfico de perda de massa, em função dos tratamentos, dado pela Figura 20.

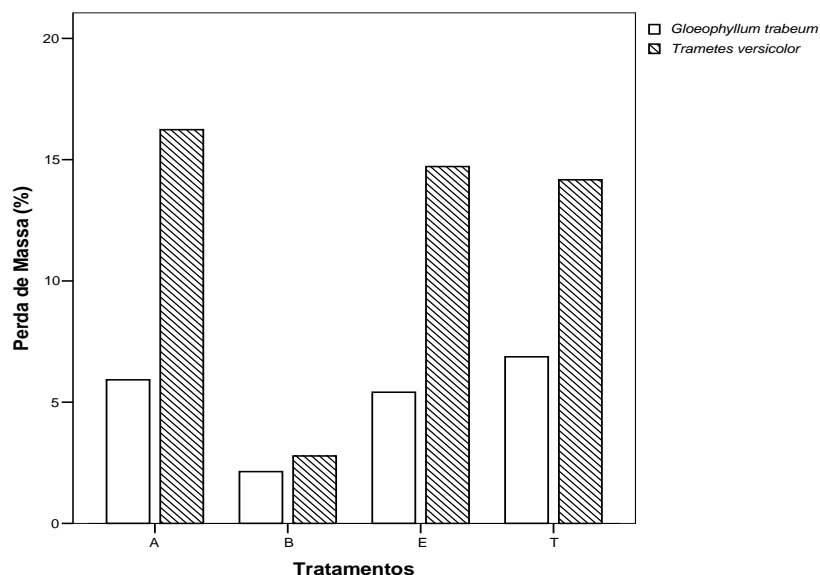


Figura 20: Gráfico de Perda de massa, em percentagem, para *Gloeophyllum trabeum* e *Trametes versicolor*.

Ao analisar o gráfico, pode-se inferir que *Trametes versicolor* obteve maiores valores de perda de massa. É notado ainda que o tratamento B, em que utilizou-se o preservante Tetraborato de sódio decahidratado (Borax), se mostrou mais eficaz para os dois fungos apodrecedores, visto anteriormente também pelos testes de ANOVA e Tukey com 5% de significância.

## 5.2 Testes físicos e Mecânicos

### 5.2.1 Massa Específica Aparente (MEA)

Ao analisar a influência do preservante químico em relação à Massa Específica Aparente do material em estudo, gerou-se a Tabela 4, que apresenta a análise descritiva para os painéis de compensado:

Tabela 4 – Valores médios de Massa Específica Aparente dos painéis de compensado.

Tratamentos	MEA (g/cm <sup>3</sup> )	Desvio Padrão	Nº de amostras	Coef. Variação (%)
A	0,748	0,045	12	6,081
B	0,653	0,049	12	7,621
E	0,676	0,021	12	3,151
T	0,667	0,029	12	4,488

Em que: GT= *Gloeophyllum trabeum*; TV = *Trametes versicolor*; A = Sem tratamento químico; B = Tratamento com Borax; E = Tratamento com Ecomof; T = Tratamento com TBF.

Para o tratamento sem preservantes químicos, a densidade específica aparente média foi de 0,74 g/cm<sup>3</sup>, com valor mínimo de 0,66 g/cm<sup>3</sup> e máximo de 0,81 g/cm<sup>3</sup>. Para o tratamento com o Borax, a densidade específica aparente média foi de 0,65 g/cm<sup>3</sup>, com valor mínimo de 0,58 g/cm<sup>3</sup> e máximo de 0,73 g/cm<sup>3</sup>. Para o tratamento com Ecomof Jimo, a densidade específica aparente média foi de 0,67 g/cm<sup>3</sup>, com valor mínimo de 0,63 g/cm<sup>3</sup> e máximo de 0,71 g/cm<sup>3</sup> e para o tratamento com TBF Jimo concentrado, a densidade específica aparente média foi de 0,66 g/cm<sup>3</sup>, com valor mínimo de 0,63 g/cm<sup>3</sup> e máximo de 0,71 g/cm<sup>3</sup>.

Tabela 5 – ANOVA da Massa Específica Aparente dos painéis de compensado.

	Tipo III – SQ	Grau de Liberdade	F	Significância
Modelo corrigido	0,06	3	14,59*	9,8E-07
Intercepto	22,61	1	15326,69	1,34E-57
CP	0,06	3	14,59	9,8E-07
Erro	0,06	44		
Total	22,74	48		
Total corrigido	0,13	47		

Alfa= ,05

(\*) Significante ao nível de 5% de significância.

Ao analisar as Tabelas 4 e 5, observa-se que o tratamento A diferiu em relação à média, obtendo o valor mais alto. Porém, para os valores de desvios-padrão e coeficientes de variação, os tratamentos A e B foram semelhantes e

obtiveram os maiores valores, enquanto que os tratamentos E e T foram semelhantes, contendo os menores valores. Tal fato pode ser explicado pelas reações ocorrentes entre o amido do bambu e os produtos químicos, bem como pela troca de água livre e os produtos químicos no processo de penetração. O teste indicou ainda que o ensaio foi significativo, visto que os valores encontrados foram menores que o alfa, dado por 0,05.

Portanto, a diferença da MEA nos tratamentos químicos foi pequena, exceto para o tratamento A (sem tratamento químico) obteve valor discrepante de média dos outros em que se fez uso de preservantes químicos. Além disto, houve a comprovação pelo teste de Tukey, no qual o tratamento A diferiu, apresentando valor de 0,74 g/cm<sup>3</sup>. Tem-se ainda a Figura 21, com as médias e desvio-padrão encontrados acima.

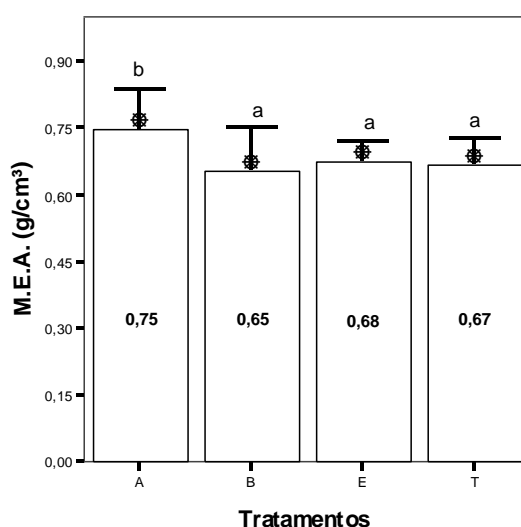


Figura 21 – Massa Específica Aparente dos painéis de compensado. Barras representam os valores médios encontrados. Valores médios em negrito. Barras em “T” representam os desvio-padrão. Letras “a” e “b” representam a diferença de grupos pelo teste de Tukey.

Com isto, pode-se afirmar que os tratamentos químicos utilizados alteram o valor de MEA natural do bambu, porém não há diferença significativa dentre os mesmos.

No estudo de Iwakiri (2011), que trabalhou com compensado de espécies de Pinus e Eucalipto, os valores médios de densidade básica de lâminas de

espécies de *Pinus* tropicais variaram na faixa de 0,394 g/cm<sup>3</sup> para *Pinus chiapensis* e 0,556 g/cm<sup>3</sup> para *Pinus oocarpa*. Para lâminas de eucalipto, as densidades médias variaram de 0,436 g/cm<sup>3</sup> para *Eucalypto grandis* e 0,687 g/cm<sup>3</sup> para *Eucalyptus saligna*. Pode-se inferir então que a densidade média para *Dendrocalamus asper* está acima destes valores encontrados, o que confere maior densidade ao material em estudo do que para espécies de eucalipto e *Pinus* tropical.

A ABIMCI classifica o compensado de cinco camadas de *Pinus* brasileiro com valor médio de 0,56 g/cm<sup>3</sup>, portanto, o compensado de bambu está dentro os padrões adotados.

### 5.2.2 Teor de Umidade

Os valores médios de Teor de Umidade (T.U.) para cada tratamento estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores médios de Teor de Umidade dos painéis de compensado.

Tratamentos	Teor de umidade (%)	Desvio-Padrão	Nº de amostras	C.V. (%)
A	10,93	0,13	12	1,15
B	11,92	0,18	12	1,58
E	10,43	0,07	12	0,68
T	10,45	0,67	12	6,45

No estudo de Torres *et al.* (2016), que trabalhou com madeira maciça de espécies de Eucalipto jovem, obteve-se um valor médio de 10,82% para teor de umidade para madeira maciça de *Eucalyptus camaldulensis*. No presente estudo foi obtido um valor médio de 10,93%, sendo então muito próximo do Eucalipto. Pelo valor ter sido ainda próximo de 12%, considera-se que o compensado está em acordo com os padrões para realização dos testes subsequentes.



### 5.2.3 Inchamento e absorção

Os valores médios de inchamento em espessura após duas horas de imersão (IE2h) e após vinte e quatro horas de imersão (IE24h) para cada tratamento está apresentado na Tabela 7:

Tabela 7 – Valores médios de inchamento em espessura compensado.

	Tratamento	Média (%)	Desvio Padrão	Nº amostras	C.V.
IE 2h	A	2,43	0,68	23	28,02
	B	3,80	1,01	22	26,48
	E	3,76	2,61	19	69,38
	T	2,64	1,26	21	47,92
IE 24h	A	6,64	1,26	23	19,03
	B	8,58	2,21	22	25,75
	E	7,16	2,10	19	29,32
	T	6,91	4,84	21	70,07

Em que: A = Sem tratamento químico; B = Tratamento com Borax; E = Tratamento com Ecomof; T = Tratamento com TBF.

Vale ressaltar que algumas amostras apresentaram defeito após o teste de inchamento e, portanto, foram retiradas das análises. O defeito é mostrado pela Figura 22, no qual houve emborcamento da capa externa.



Figura 22: Amostra apresentando encanoamento na primeira camada de colagem (Fonte: Acervo pessoal).

Apresenta-se ainda a Tabela 8, referente aos valores estatísticos encontrados para os testes IE 2h e IE 24h.

Tabela 8 – ANOVA do inchamento em espessura dos painéis de compensado.

		Tipo III – SQ	Grau de liberdade	F	Significância
IE 2h	Modelo corrigido	34,23	3	4,95*	0,01
	Intercepto	844,14	1	366,57	8,36E-32
	CP	34,23	3	4,95	0,001
	Erro	186,52	81		
	Total	1056,31	85		
	Total corrigido	220,75	84		
IE 24h	Modelo corrigido	49,57	3	1,95**	0,13
	Intercepto	4539,00	1	535,38	1,91E-37
	CP	49,57	3	1,95	0,13
	Erro	686,71	81		
	Total	5301,05	85		
	Total corrigido	736,29	84		

Alfa= ,05

(\*)Significante ao nível de 5% de significância.

(\*\*) Não significativa ao nível de 5% de significância.

É possível observar que houve diferença estatística significativa para o teste de inchamento em espessura após 2 horas, visto que o valor de significância foi menor que o alfa, dado por 0,05. Porém, para o teste de inchamento em espessura após 24 horas, o valor indicou que não houve significância entre os tratamentos, visto que o valor foi superior ao alfa.

Como outra forma que confirmação, foi realizado o teste de Tukey, em que para o IE 2h, os tratamentos foram semelhantes, exceto pelo tratamento A (Sem tratamento químico). Já para o IE 24h, todos os tratamentos foram semelhantes, não havendo discrepância entre os valores encontrados para cada tratamento.

O maior inchamento em espessura dos painéis foi verificado após 24 horas, quando ocorreu a maior absorção de água. A seguir, tem-se a Figura 23 ainda relativa ao inchamento em espessura:

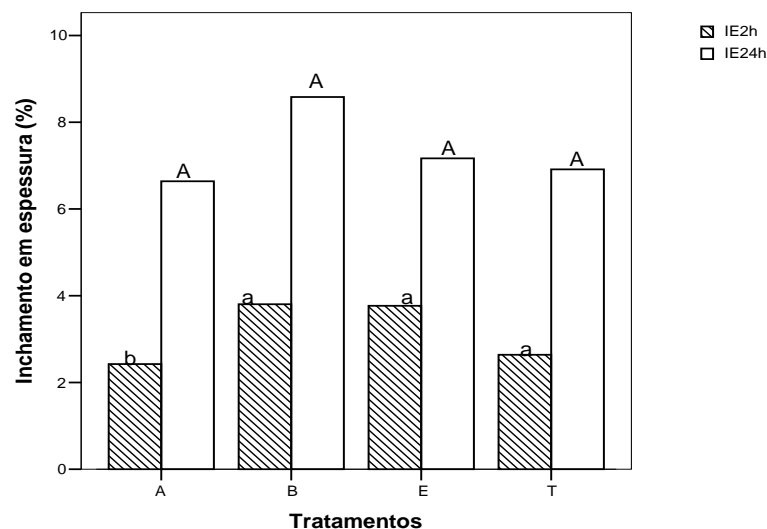


Figura 23 – Inchamento em espessura dos painéis de compensado. Barras em “T” representam os desvios-padrão. Letras “A”, “a” e “b” representam a diferença de grupos pelo teste de Tukey.

O inchamento em espessura de um painel compensado é resultado da absorção de água assim como da liberação das tensões de prensagens. Podem afetar o inchamento o tempo de prensagem, temperatura de prensagem e tipo, proporção e formulação do adesivo utilizado (CABRAL, 2011).

Os valores médios de absorção de água após duas horas de imersão (AA2h) e após vinte e quatro horas de imersão (AA24h) para cada tratamento está apresentado na Tabela 9:

Tabela 9 – Valores médios de Absorção de água dos painéis de compensado.

	Tratamento	Média (%)	Desvio Padrão	Nº de amostras	C.V.
AA 2h	A	11,45	2,13	24	18,65
	B	18,42	1,86	24	10,09
	E	13,22	1,56	24	11,77
	T	12,86	1,51	24	11,74
AA 24h	A	30,13	4,21	24	13,96
	B	40,92	3,43	24	8,37
	E	32,14	2,47	24	7,68
	T	31,74	2,98	24	9,40

Em que: A = Sem tratamento químico; B = Tratamento com Borax; E = Tratamento com Ecomofó; T = Tratamento com TBF.

Os maiores valores de média em absorção de água foi observado no tratamento B, enquanto que para o inchamento em espessura dos painéis, os maiores valores de média foi observado no tratamento A.

Os resultados encontrados neste trabalho podem ser explicados pela alta quantidade de parênquima, muito abundante no tecido do bambu. Esta característica influencia ainda no valor de massa específica aparente, visto que de acordo com o estudo de Guimarães Jr. (2012), materiais com menor densidade obtiveram potencial de apresentar maior porosidade e dessa forma, serem ocupados com maior quantidade de água livre.

De acordo com o teste de Tukey, para o AA 2h, os tratamentos E e T obtiveram semelhança, enquanto que os tratamentos A e B diferiram entre si, obtendo o menor e maior valor, respectivamente. Entretanto, para AA 24h, somente o tratamento B diferiu, obtendo valor de 40,91, o valor mais alto.

Abaixo, segue a Tabela 10 com os valores do teste realizado para os valores encontrados de AA 2h e AA 24h:

Tabela 10 – ANOVA da Absorção de água dos painéis de compensado.

		Tipo III – SQ	Grau de liberdade	F	Significância
AA 2h	Modelo corrigido	669,68	3	70,18*	1,07E-23
	Intercepto	18785,21	1	5906,19	2,93E-85
	CP	669,68	3	70,18	1,07E-23
	Erro	292,61	92		
	Total	19747,51	96		
	Total corrigido	962,29	95		
AA 24h	Modelo corrigido	1706,09	3	51,17*	1,51E-19
	Intercepto	109235,30	1	9828,51	2,6E-95
	CP	1706,09	3	51,17	1,51E-19
	Erro	1022,49	92		
	Total	111963,90	96		
	Total corrigido	2728,59	95		

Alfa= ,05

(\*)Significante ao nível de 5% de significância.

De acordo com a Tabela 10, foi possível observar que houve diferença estatística significativa para os testes de Absorção de água após 2 e 24 horas, visto que os valores de significância foram muito menores que o alfa, dado por 0,05, representado graficamente pela Figura 24.

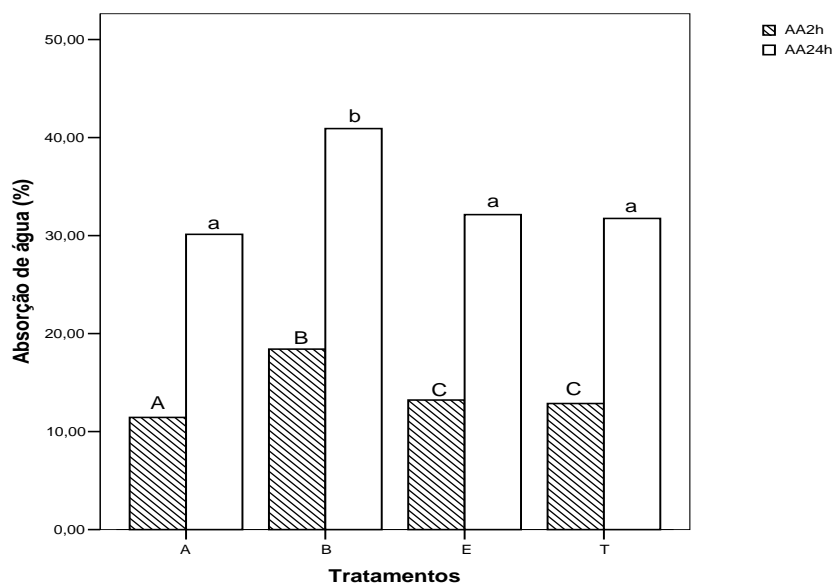


Figura 24 – Absorção de água dos painéis de compensado. Barras em “T” representam os desvios-padrão. Letras “A”, “B”, “C”, “a” e “b” representam a diferença de grupos pelo teste de Tukey.

Portanto, o tratamento que exibiu melhor desempenho em duas horas, apresentando o menores valores médios de AA2h e de IE2h, foi o tratamento A.

Já para o desempenho em vinte e quatro horas, o tratamento A foi o que obteve os melhores resultados, apresentando os menores valores médios de AA24h e IE 24h, de forma que o tratamento B exibiu o desempenho mais baixo, obtendo os maiores valores médios de AA24h e IE24h.

Iwakiri *et al.* (2001) encontraram valores de inchamento em espessura variando de 4,85% à 7,75% para IE 24h em painéis compensados com aplicação de cinco espécies de pinus tropicais e nove espécies de Eucalipto. Valores

discrepantes foram encontrados para *Dendrocalamus asper*, no qual obtiveram valores de 19,03% à 70,07%.

Melhoras no processo produtivo, como aplicação de materiais e revestimento que funcionam como uma barreira física à penetração de água na madeira (Nemli, 2008), podem ser consideradas uma boa alternativa.

Albino *et al.* (2011) avaliaram as propriedades físicas e mecânicas de painéis compensados produzidos a partir de lâminas de madeira de *Toona ciliata* e mista com *Pinus* sp. Observaram então que os painéis compostos somente por lâminas de *Toona ciliata*, quando aplicada maior pressão de prensagem e maior gramatura no processo produtivo, tiveram uma redução nos resultados de absorção de água, igualando-se aos resultados obtidos pelos painéis de composição mista. Este fato nos indica outra possível alternativa para obter melhores resultados com *Dendrocalamus asper*.

#### 5.2.4 Flexão estática

O teste de flexão estática permite a obtenção dos Módulos de Elasticidade (MOE) e de Ruptura (MOR). Segue Tabela 11 em que se avaliam os valores médios para MOE paralelo e perpendicular:

Tabela 11– Valores médios de MOE paralelo e perpendicular dos painéis de compensado.

	Tratamentos	Média (MPa)	Desvio-Padrão	Nº de amostras	C.V. (%)
MOE Paralelo	A	10239,11	1610,25	12	15,73
	B	9638,16	2027,47	11	21,03
	E	9188,17	917,48	12	9,98
	T	8760,05	1226,73	12	14,00
MOE Perpendicular	AT	3502,09	1305,92	3	37,28
	BT	2617,07	330,58	3	12,63
	ET	2423,65	551,45	3	22,75
	TT	2895,45	711,79	3	24,58

Em que: A = Sem tratamento químico; B = Tratamento com Borax; E = Tratamento com Ecomofó; T = Tratamento com TBF; AT, BT, ET e TT representam valores de teste perpendicular.

A análise aplicada aos resultados do módulo de elasticidade (MOE) em flexão estática indicou que os painéis paralelos obtiveram valores superiores, sendo que o tratamento A obteve as maiores médias de MOE, tanto em amostras paralelas quanto em amostras perpendiculares. Para concluir se as diferenças são significativas ou não, foi aplicado o teste demonstrado na Tabela 12.

Tabela 12– ANOVA do MOE paralelo e perpendicular dos painéis de compensado.

		Tipo III - SQ	Grau de liberdade	F	Significância
MOE Paralelo	Modelo corrigido	14396437	3	2,16**	0,106383
	Intercepto	4,20E+09	1	1890,87	3,54E-37
	C.P	14396437	3	2,16	0,106383
	Erro	95441613	43		
	Total	4,31E+09	47		
	Total corrigido	1,10E+08	46		
MOE Perpendicular	Modelo corrigido	1988930	3	1,01**	0,44
	Intercepto	98124934	1	149,49	1,86E-06
	C.P	1988930	3	1,01	0,44
	Erro	5250894	8		
	Total	1,05E+08	12		
	Total corrigido	7239824	11		

Alfa= ,05

(\*\*) Não significante ao nível de 5% de significância.

De acordo com a Tabela 12, é possível observar que não houve diferença estatística significativa para os testes de MOE Paralelo e MOE perpendicular, visto que os valores de significância foram maiores que o alfa, dado por 0,05. Tal fato foi ilustrado pela Figura 25.

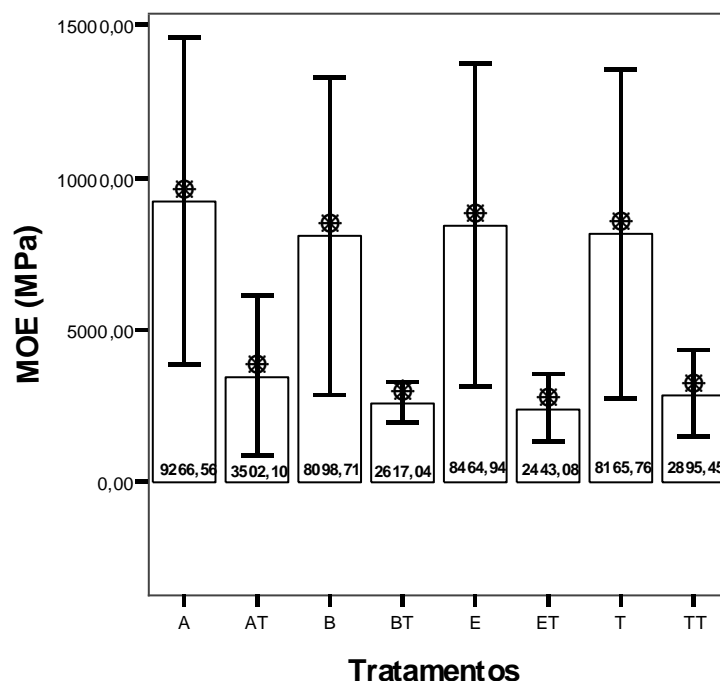


Figura 25 – Gráfico de MOE paralelo e perpendicular dos painéis de compensado. Barras representam os valores encontrados. Valores médios em negrito. Barras em “T” representam os desvios-padrão. Em que: AT, BT, ET e TT representam valores de teste perpendicular. Não houve diferença significativa entre os tratamentos de cada ensaio a 5% de significância.

O teste de flexão estática também nos permite obter valores de MOR. Estes estão representados na Tabela 13.

Tabela 13 – Valores médios de MOR paralelo e perpendicular dos painéis de compensado.

	Tratamentos	Média (MPa)	Desvio-Padrão	Nº de amostras	C.V. (%)
MOR Paralelo	A	81,68	10,55	12	12,92
	B	74,83	10,51	11	14,05
	E	73,30	8,66	12	11,82
	T	68,96	9,09	12	13,18
MOR Perpendicular	AT	43,65	11,79	3	27,01
	BT	31,39	2,19	3	6,98
	ET	32,23	0,25	3	0,76
	TT	33,93	3,32	3	9,79

Em que: A = Sem tratamento químico; B = Tratamento com Borax; E = Tratamento com Ecomofó; T = Tratamento com TBF; AT, BT, ET e TT representam valores de teste perpendicular.



A análise aplicada aos resultados do módulo de ruptura (MOR) em flexão estática indicou que os painéis paralelos obtiveram valores superiores, sendo que o tratamento A obteve as maiores médias de MOR tanto em amostras paralelas, quanto perpendiculares. Para concluir se as diferenças são significativas ou não, o teste demonstrado na Tabela abaixo:

Tabela 14 – ANOVA do MOR paralelo e perpendicular dos painéis de compensado.

		Tipo III - SQ	Grau de liberdade	F	Significância
MOR Paralelo	Modelo corrigido	1004,13	3	3,54*	0,02
	Intercepto	261846,20	1	2769,98	1,12E-40
	C.P	1004,13	3	3,54	0,02
	Erro	4064,78	43		
	Total	267265,80	47		
	Total corrigido	5068,91	46		
MOR Perpendicular	Modelo corrigido	288,92	3	2,48**	0,13
	Intercepto	14955,12	1	386,21	4,68E-08
	C.P	288,92	3	2,48	0,13
	Erro	309,77	8		
	Total	15553,82	12		
	Total corrigido	598,70	11		

Alfa= ,05

(\*) Significante ao nível de 5% de significância.

(\*\*) Não significante ao nível de 5% de significância.

De acordo com a Tabela 14, é possível observar que houve diferença estatística significativa para os testes de MOR paralelo, visto que os valores de significância foram menores que o alfa, dado por 0,05. Este fato foi observado ainda de acordo com o teste de Tukey, em que os tratamentos A e T diferiram dos demais tratamentos. Já para o MOR perpendicular, não houve diferença significativa, também comprovado pelo teste de Tukey, em que foram gerados valores semelhantes, como demonstra a Figura 26.

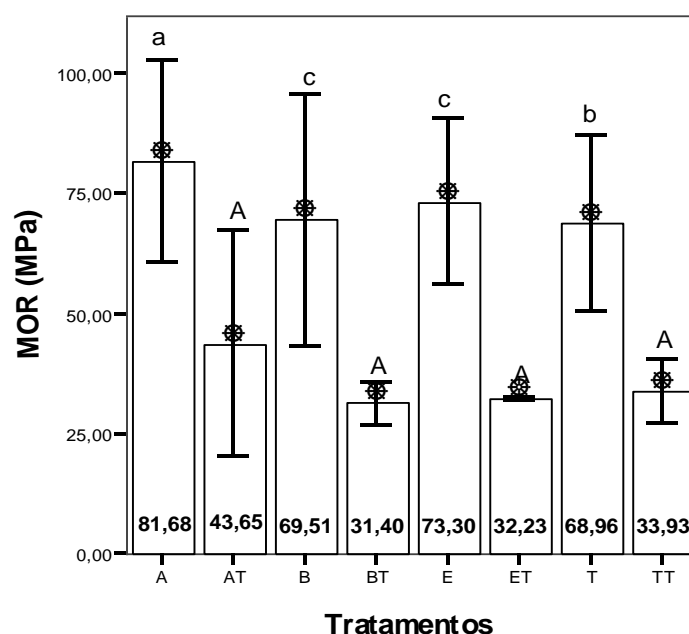


Figura 26 – Gráfico de MOR paralelo e perpendicular dos painéis de compensado. Barras representam os valores encontrados. Valores médios em negrito. Barras em “T” representam os desvio-padrão. Em que: AT, BT, ET e TT representam valores de teste perpendicular e “A”, “a”, “b” e “c” representam o Teste de Tukey. Não houve diferença significativa entre os tratamentos de cada ensaio de painéis perpendiculares a 5% de significância.

Iwakiri et al. (2012), que avaliaram cinco espécies de *Pinus* tropicais e nove espécies de *Eucalipto* de painéis compensados, encontrou valores médios para MOE paralelo de 6300 MPa a 16366 MPa e para MOR paralelo valores de 58,54 MPa a 104,54 MPa. Visto que o presente estudo obteve valores médios para MOE paralelo e MOR paralelo de 9452,504 MPa e 74,69 MPa, respectivamente, pode-se inferir que *Dendrocalamus asper* obteve bons resultados tanto para MOE paralelo, quanto para MOR paralelo.

Iwakiri et al. (2012) encontrou ainda valores médios para MOE perpendicular de 2046 MPa a 4062 MPa e para MOR perpendicular de 28,25 MPa a 52,20 MPa. Os valores médios para MOE perpendicular e MOR perpendicular no presente estudo foram 2859,55MPa e 35,30 MPa, respectivamente. Portanto, é possível inferir que *Dendrocalamus asper* obteve bons resultados tanto para MOE perpendicular, quanto para MOR perpendicular.

A ABIMCI classifica o compensado de cinco camadas de *Pinus brasileiro* com valor médio para MOE e MOR paralelo de 8376,75 MPa e 48,80 MPa, respectivamente, bem como valores médios de MOE perpendicular e MOR perpendicular de 2227,93 MPa e 21,95 MPa. Portanto, é possível inferir que o compensado de bambu obteve bons resultados.

Cabral (2011), que avaliou painéis compensados de *Pinus Taeda*, encontrou valores médios de 47,40 MPa para MOR e 5765,30 MPa para MOE paralelo e 18,56 MPa e 957,69 MPa para MOR e MOE perpendicular. Portanto, é possível inferir que o compensado de *Dendrocalamus asper* estudado obteve melhores valores de resistência e rigidez.

### 5.2.5 Stress Wave

O teste de Stress Wave timer permite que sejam obtidos valores de Módulo de Elasticidade dinâmico (MOEd), de forma não destrutiva. Abaixo, segue a Tabela 15 em que se encontram os valores médios encontrados para MOEd paralelo e perpendicular para os tratamentos utilizados:

Tabela 15 – Valores médios de MOEd paralelo e perpendicular dos painéis de compensado.

	Tratamentos	Média (MPa)	Desvio-Padrão	Nº de amostras	C.V.
MOEd Paralelo	A	8967,15	880,57	12	9,82
	B	8797,23	1808,74	12	20,56
	E	8932,81	1036,41	12	11,60
	T	9218,67	1553,59	12	16,85
MOEd Perpendicular	AT	5886,66	1124,58	3	19,11
	BT	5145,70	158,86	3	3,08
	ET	4691,27	434,63	3	9,26
	TT	5907,61	352,04	3	5,96

Em que: A = Sem tratamento químico; B = Tratamento com Borax; E = Tratamento com Ecomof; T = Tratamento com TBF; AT, BT, ET e TT representam valores de teste perpendicular.

Os valores médios encontrados para o MOEd paralelo e perpendicular é explicado pelo sentido das fibras nos painéis. De acordo com Prata *et. al.* (2006), o

princípio de montagem de um painel compensado é de laminação cruzada, portanto, quando se retira um corpo de prova no sentido paralelo, se houver espaços freqüentes entre as lâminas de miolo, os corpos de prova terão maior incidência de falhas em sua extensão. Isto ocorre com os corpos de prova no sentido perpendicular também, mas com menor incidência, representado pela Figura 27.

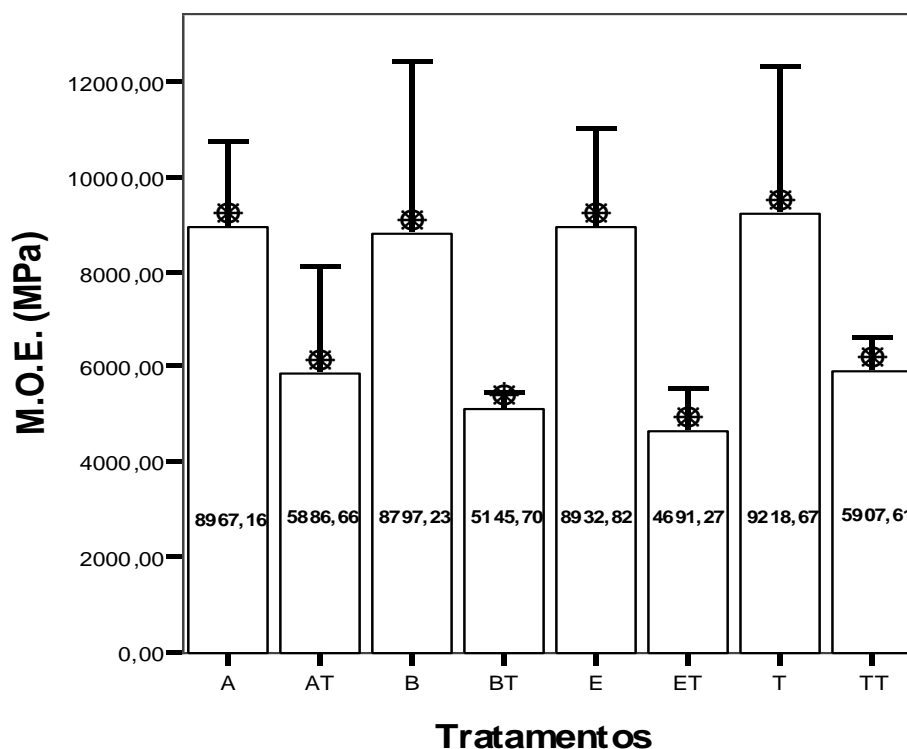


Figura 27 – Gráfico de MOEd paralelo e perpendicular dos painéis de compensado. Barras representam valores encontrados. Valores médios em negrito. Barras em “T” representam desvios-padrão. Em que: AT, BT, ET e TT representam valores de teste perpendicular. Não houve diferença significativa entre os tratamentos de cada ensaio a 5% de significância.

Foi realizado ainda a ANOVA dos valores encontrados, representado na Tabela 16.

Tabela 16 – ANOVA de MOEd paralelo e perpendicular dos painéis de compensado.

		Tipo III – SQ	Grau de liberdade	F	Significância
MOEd Paralelo	Modelo corrigido	1113081	3	0,19**	0,89
	Intercepto	3,87E+09	1	2054,40	1,43E-38
	CP	1113081	3	0,19	0,89
	Erro	82882174	44		
	Total	3,95E+09	48		
	Total corrigido	83995255	47		
MOEd Perpendicular	Modelo corrigido	3183687	3	2,65**	0,12
	Intercepto	3,51E+08	1	875,82	1,84E-09
	CP	3183687	3	2,65	0,12
	Erro	3205534	8		
	Total	3,57E+08	12		
	Total corrigido	6389221	11		

Alfa= ,05

(\*\*) Não significante ao nível de 5% de significância.

De acordo com a Tabela 16, é possível observar que não houve diferença estatística significativa para os testes de MOEd Paralelo e MOEd perpendicular, visto que os valores de significância foram muito maiores que o alfa, dado por 0,05.

Ao realizar o teste de Stress Wave, é essencial que se analise a correlação entre o Módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) e o Módulo de elasticidade estático (MOE), método não-destrutivo e método destrutivo, bem como o Módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) com o Módulo de ruptura (MOR), como demonstrado nas Figuras 30 e 31, onde encontram-se os gráficos das correlações, tanto para teste paralelo, quanto para perpendicular.

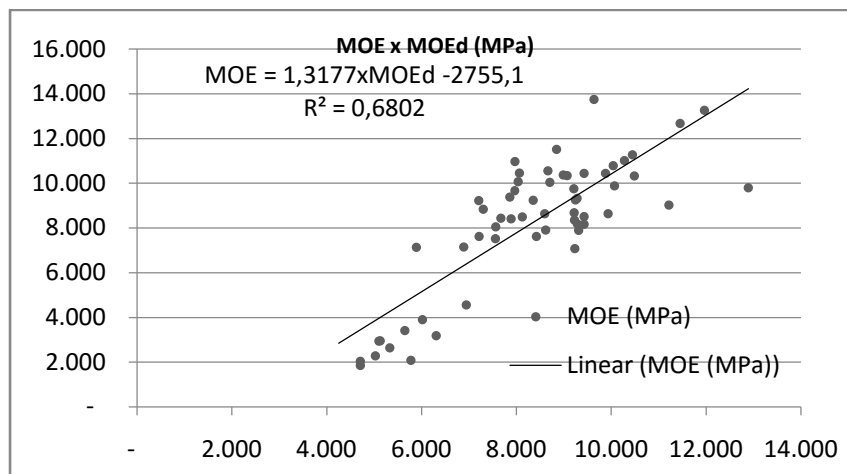


Figura 30 – Gráfico de correlação entre MOE e MOEd dos painéis de compensado.

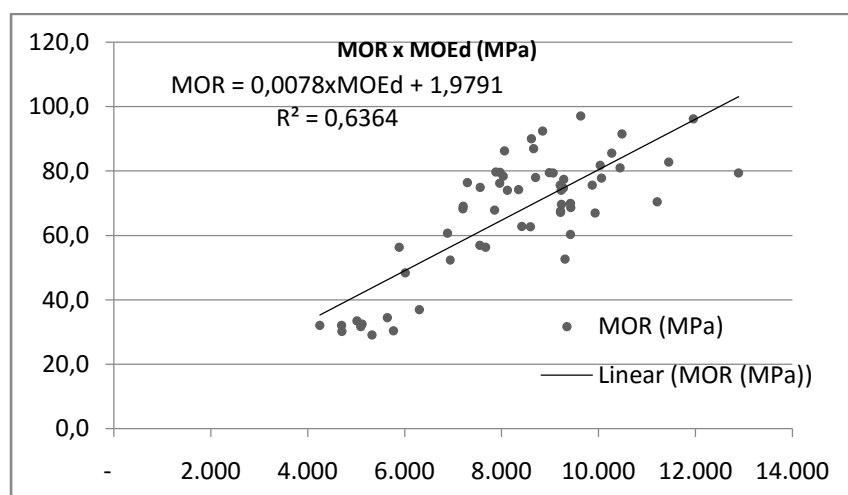


Figura 31 – Gráfico de correlação entre MOR e MOEd dos painéis de compensado.

Tanto para MOE x MOEd, quanto para MOR x MOEd as correlações foram satisfatórias, visto o valor de R se deu acima de 0,5. Com isto, é possível observar que o Stress Wave é um teste com potencial para estimar valores de MOE e MOR, mesmo que de forma não-destrutiva.

## 5.2.6 Cisalhamento

Este experimento tem como objetivo avaliar a qualidade da linha de cola em relação ao material e seus tratamentos utilizados. A seguir, são apresentadas as Tabelas 17 e 18, que representam os valores encontrados para cada

tratamento e suas correlações, no que se refere à força de cisalhamento em corpos de prova secos e úmidos.

Tabela 17 – Valores médios de resistência ao cisalhamento dos painéis de compensado.

	Tratamento	Média (MPa)	Desvio-padrão	Nº de amostras	C.V. (%)
Cisalhamento Seco	A	3,08	0,78	12	25,27
	B	3,19	0,55	12	17,29
	E	3,27	0,81	11	24,62
	T	3,57	0,84	12	23,47
Cisalhamento Úmido	A	1,75	0,32	12	18,42
	B	1,40	0,32	12	22,81
	E	1,64	0,60	11	36,71
	T	1,56	0,53	12	34,03

Em que: A = Sem tratamento químico; B = Tratamento com Borax; E = Tratamento com Ecomofó; T = Tratamento com TBF.

Tabela 18 – ANOVA da resistência ao cisalhamento dos painéis de compensado.

		Tipo III –SQ	Grau de liberdade	F	Significância
Cisalhamento Seco	Modelo corrigido	1,57	3	0,93**	0,43
	Intercepto	505,44	1	894,95	2,04E-30
	Tratamento	1,57	3	0,93	0,43
	Erro	24,28	43		
	Total	532,04	47		
	Total corrigido	25,86	46		
Cisalhamento Úmido	Modelo corrigido	0,79	3	1,26**	0,29
	Intercepto	118,49	1	565,5936	2,26E-26
	C.P	0,79	3	1,26	0,29
	Erro	9,01	43		
	Total	128,28	47		
	Total corrigido	9,80	46		

Alfa= ,05

(\*\*) Não significativa ao nível de 5% de significância.

A partir da Tabela 18, pode-se observar que o teste não foi significativo, pois é encontrado valor superior ao alfa.

Analisando ainda a Tabela 17, observa-se que a diferença entre os tratamentos químicos foi pequena, de modo que os valores de médias, desvios-padrão e coeficientes de variação foram semelhantes. Com isto, pode-se afirmar que os tratamentos químicos utilizados não alteram a resistência do material em relação ao cisalhamento na linha de cola.

*Dendrocalamus asper* apresentou valores médios superiores ao exigido pela norma adotada EN 314-2:1993. A ABIMCI classifica o compensado de cinco camadas de Pinus brasileiro para resistência na linha de cola com valor médio de 2,84 MPa para teste seco e 1,66 MPa para teste úmido. Estes fatos conferem resultados de acordo com o proposto.

Iwakiri *et. al.* (2001) encontraram para painéis compensados de cinco espécies de Pinus tropicais valores médios tensões de cisalhamento na faixa de 1,21 MPa a 1,62 MPa para teste seco e 0,55 MPa a 1,31 MPa para teste úmido. Iwakiri *et. al.* (2002) encontraram para *Pinus taeda* e *Pinus oocarpa* valores médios de tensões de cisalhamento (teste seco) de 1,57 MPa e 1,81 MPa, respectivamente. Visto que o presente estudo conferiu médias de 3,28 MPa para teste seco e 1,58 MPa para teste úmido, é possível inferir que *Dendrocalamus asper* confere maior resistência, tanto ao cisalhamento seco, quanto úmido.

Outro quesito a observar, é a qualidade da linha de cola, quantificando a falha na madeira, dada com intervalo de precisão de 5%, conforme as Tabelas 19 e 20.

Tabela 19 – Valores médios em percentagem de falha no bambudos painéis de compensado.

	Tratamento	Média (%)	Desvio-Padrão	Nº de amostras	C.V.
Falha no bambu – Teste seco	A	30,42	26,92231	12	88,51169
	B	30,00	18,82938	12	62,76459
	E	47,50	39,22546	12	82,57991
	T	72,50	33,20049	12	45,79378
Falha no bambu – Teste Úmido	A	16,25	19,67058	12	121,0497
	B	20,83	17,42951	12	83,66166
	E	14,16	12,21648	12	86,23399
	T	11,25	7,423856	12	65,98983

Em que: A = Sem tratamento químico; B = Tratamento com Borax; E = Tratamento com Ecomofó;

T = Tratamento com TBF.



Observa-se que a percentagem de falha na madeira foi maior em corpos de prova secos, principalmente no tratamento T. Já em corpos de prova úmidos, a percentagem foi menor e mais uniforme em relação às suas médias.

Iwakiri *et. al.* (2012), que testaram cinco espécies de *Pinus* tropicais e nove espécies de *Eucalipto*, encontraram percentagens de falhas na madeira acima de 60%, exceto para para *Pinus tecumanii*, *Eucaliptus saligna* e *Eucaliptus dunii*. No presente estudo foram encontradas médias de falhas na madeira de 15,62% para úmido e 45,10% para seco, apresentando então melhor qualidade.

A ABIMCI classifica o compensado de cinco camadas de *Pinus* brasileiro para falha na linha de cola com valor médio de 62% para teste seco e 36% para teste úmido. Estes fatos conferem bons resultados de acordo com o proposto.

De acordo com Guimarães Jr. *et.al.* (2012), as diferenças observadas na qualidade de colagem podem ser explicadas por características intrínsecas do material genético que compõe a estrutura do compensado, destacando-se aquelas relacionadas à constituição anatômica, física e química da madeira.

Albino *et al.* (2012), descreveu que a dimensão do diâmetro do vaso, largura e comprimento da fibra e a largura do raio podem interferir, gerando linha de cola faminta quando estes obtêm valores muito elevados, absorvendo maior quantidade de adesivo.

## 6. CONCLUSÕES

O estudo de *Dendrocalamus asper* para a confecção de compensado de bambu permitiu concluir que:

- Houve pouca diferença entre os tratamentos;
- O tratamento com Tetraborato de sódio decahidratado (Borax) foi o mais eficaz tanto para *Gloeophyllum trabeum*, quanto para *Trametes versicolor*;
- Os tratamentos químicos do bambu diminuíram a massa específica aparente (MEA) dos painéis de compensado;

- Os tratamentos químicos não alteraram a resistência mecânica do compensado de bambu;
- Todos os tratamentos químicos são indicados para uso, uma vez que obtiveram valores superiores aos mínimos exigidos;
- O teste Stress Wave Timer se mostrou uma tecnologia em potencial para estimativa dos módulos de elasticidade e ruptura;
- Os resultados obtidos para todos os tratamentos nos experimentos realizados foram muito satisfatórios.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMICI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. Compensado de pinus. Programa Nacional de Qualidade da Madeira. Catálogo Técnico n. 1, Curitiba, 2002. 20p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Madeira – Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. (Norma Brasileira NBR 7190).

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Madeira compensada – Qualidade de colagem. Rio de Janeiro, 2006. (Norma Brasileira NBR ISO 12466-1).

ALBINO, V. C. S; SÁ, V. A; BUFALINO, L; MENDES, M. M; ALMEIDA, N. A. Avaliação das propriedades físico-mecânicas de painéis compensados de *Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*. Cerne, Lavras, v. 17, n. 1, p. 103-108, jan./mar. 2011.

ALBINO, V. C. S; MORI, F. A; MENDES, L. M. Influência das características anatômicas e do teor de extrativos totais da madeira de *Eucalyptus grandis* w. hill ex maiden na qualidade da colagem. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 803-811, out.-dez, 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM D - 2017*. Standard method for accelerated laboratory test of natural decay resistance for woods. Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM D - 1037*. Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials. Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, 1999.

BERALDO, A.L.; PEREIRA, M.A.R. Bambu de corpo e alma. Bauru, SP. p. 35-38, 2007.

BERALDO, A. L.; AZZINI, A.; CASCARDO, C. R.; RIBEIRO, C.A. Desempenho de um dispositivo para efetuar o tratamento químico de colmos de bambu: Avaliação por ultra-som. ENECS – Encontro Nacional Sobre Edificações E Comunidades Sustentáveis. São Paulo, 2013.

BERNDSEN, R.S.; Klitzke, R.J.; Batista, D.C.; Nascimento, E.M.; Ostapi, F. Resistência à flexão estática e à compressão paralela do bambu-mossô (*Phyllostachys pubescens*). FLORESTA, Curitiba, PR, v. 43, n. 3, p. 485 - 494, jul. / set. 2013.

CABRAL, B. M. Qualidade de painéis compensados de pinus taeda produzidos por indústrias da região de Irati/PR. 2011. 43p. Dissertação (Título de Engenheiro Florestal) - Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, Irati, 2011.

EUROPEAN STANDARDS. EN 310: Wood-based panels – determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. United Kingdom. 1993. 13p.

ESPELHO, J. C. C.; BERALDO, A. L. Avaliação físico-mecânica de colmos de bambu tratados. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 12, n.6, p. 645-652, 2008.

FERREIRA, L.G.R. Qualidade do tratamento preservativo de Bambu (*Bambusa vulgaris* schrad.) Universidade Federal do Espírito Santo – UFES. Espírito Santo, 2010.

GUIMARÃES JÚNIOR, J. B; MENDES, L. M; MENDES, R. F; GUIMARÃES, B. M. R; OLIVEIRA, L. O. Seleção de clones *Eucalyptus Urophylla* para produção de compensados. Cerne, Lavras, v. 18, n. 4, p. 667-673, out./dez. 2012.

IWAKIRI, S; OLANDOSKI, D. P; LEONHARDT, G; BRAND, M. A. Produção de chapas de madeira compensada de cinco espécies de pinus tropicais. Ciência Florestal, Santa Maria, RS, v. 11, n. 2, p. 71-77, 2001.

IWAKIRI, S.; VARGAS, C. A.; PARCHEN, C. F. A.; WEBER, C.; BATISTA, C. C.; GARBE, E. A.; CIT, E. J.; PRATA, J. G. Avaliação da qualidade de painéis compensados produzidos com lâminas de madeira de *Schizolobium amazonicum*. Floresta, Curitiba, v. 41, n. 3, p. 451 - 458, 2011.

IWAKIRI, S; CUNHA. A. B; TRIANOSKI, R; BRAZ, R. L; CASTRO, V. G; KAZMIERCZAK, S; PINHEIRO, E; RANCATTI, H; SANCHES, F. L. Produção de painéis compensados fenólicos com lâminas de madeira de *Sequoia sempervirens*. Floresta e Ambiente, V. 20, N. 2, P. 264-270, 2013

IWAKIRI, S.; SANCHES, F.G.; PETULSKI, D.C.; SILVA, J.B.; ANDRADE, M.; Marchesan, R. Avaliação do potencial de uso de Pinus tropicais e Eucalipto na produção de painéis compensados ureicos. Floresta, Curitiba – PR, n. 02, p. 277-284, abr./jun. 2012.

IWAKIRI, S.; SILVA, J. C.; SILVA, J. R. M.; ALVES, C. R.; PUEHRINGER, C. A. Produção de compensados de *Pinus taeda* L. e *Pinus oocarpa* Schiede com diferentes formulações de adesivo ureia-formaldeído. Árvore, v. 26, n. 3, p. 371 - 375, 2002.

KIGOMO, B.N. Guidelines for Growing Bamboo. Kefri Guideline Series: n. 4. Kênia, April, 2007.

LIESE, W. *Bamboos – Biology silvics, properties, utilization*. GTZ, Germany, 1985.

LIMA, D. M.; AMORIM, M.M.; LIMA JÚNIOR, H.C.; BARBOSA, N.P.; WILRICH, F.L. Avaliação do comportamento de vigas de bambu laminado colado submetidas à flexão. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 15-27, jan./mar. 2014.

MARINHO, N.P. Características das fibras do bambu (*dendrocalamus giganteus*) e potencial de aplicação em painéis de Fibra de Média Densidade (MDF). Universidade Tecnológica Federal de Curitiba – UTFSC. Curitiba, 2012.

MARINHO, N.P.; NISGOSKI, S.; KLOCK, U.; ANDRADE, A.S.; MUÑIZ, G.I.B. Análise química do bambu-gigante (*dendrocalamus giganteus* wall. ex munro) em diferentes idades. Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 417-422, abr.-jun., 2012.

NEMLI, G. Factors affecting some quality properties of the decorative surfasse overlays. Journal of Materials Processing Technology, vol. 95 (1): p. 218-233, 2008.

PRATA, J.G. Desempenho de um sistema de qualidade de uma fábrica de painéis compensados. Curitiba-PR, 2006, 106p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.

PRATES, E.M.B; COSTA, A.F.; RIBEIRO, D.G. Morfologia externa e anatomia do colmo de *Dendrocalamus asper* (Poaceae: Bambusoideae) em duas localidades do Distrito Federal. Universidade de Brasília – UnB. Distrito Federal, 2013.

RIVERO, L. A.; BERALDO, A. L. laminado colado e contraplacado de bambu. universidade estadual de campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas – SP. Agosto, 2003.

SOUZA, M.R.; TEIXEIRA, D.E. Compostos à base de madeira. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Laboratório de Produtos Florestais. Brasília, 2002.

SOUZA, R.L.; BOURSCHEID, J.A. A utilização do bambu em casas populares. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – IFSC. Florianópolis, p.16-18.

TORRES, P.M.A.; PAES, J.B.; NASCIMENTO, W.B.; BRITO, F.M.S. Caracterização físico-mecânica da madeira jovem de *Eucalyptus*

*camaldulensis* para Aplicação na Arquitetura Rural. Floresta Ambient. Vol. 23 n°  
01. Seropédica Jan./Mar.2016.